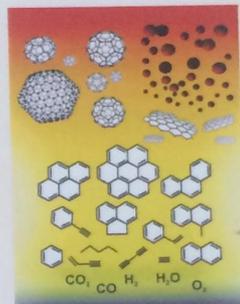
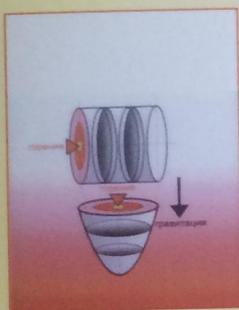


Ministry of Education & Science of the Republic of Kazakhstan / Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым Министрлігі
Министерство Образования и Науки Республики Казахстан
al-Farabi Kazakh National University / әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті
Казахский национальный университет им. аль-Фараби



Proceedings of the Joint International VIII Symposium “Combustion & Plasmochemistry”

The Institute of Combustion Problem. Институт проблем горения. МОН РК - Комитет Науки



and

Scientific & Technical Conference “Energy Efficiency-2015”

National Academy of Science of Ukraine / The Gas Institute
Українаның Ұлттық Ғылыми академиясы / Газ Институты
Национальная академия наук Украины / Институт газа



Бірлескен VIII “ЖАНУ ЖӘНЕ ПЛАЗМОХИМИЯ” халықаралық симпозиумы
мен “ЭНЕРГИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІК-2015” ғылыми техникалық конференциясы

Совместный VIII международный симпозиум “ГОРЕНИЕ И ПЛАЗМОХИМИЯ”
и научно-техническая конференция “ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ-2015”

September, 16-18, 2015, Almaty, Republic of Kazakhstan

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ В ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ

В.Е. Мессерле^{1,2}, А.Б. Устименко³, К.А. Умбеткалиев¹, Р.В. Баймулдин⁴,

¹ Институт проблем горения, Казахстан, 050012, Алматы, ул. Богенбай батыра, 172

² Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 1

³ ТОО «НТО Плазмотехника», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Зверева, 22, ust@physics.kz

⁴ Физико-технический факультет КазНУ им. Аль-Фараби, Казахстан, 050040, Алматы, ул. Аль-Фараби, 71

Аннотация

Представлена комплексная плазмохимическая технология переработки твердых топлив. Выполнены термодинамические и экспериментальные исследования этой технологии, позволяющей получить из органической массы угля синтез-газ, а из минеральной массы – ценные компоненты (технический кремний, ферросилиций, алюминий и карбосилиций, а также микроэлементы редких металлов: уран, молибден, ванадий).

С экологической точки зрения плазменная комплексная переработка углей для получения синтез-газа из органической массы угля (ОМУ) и ценных компонентов из минеральной массы угля (ММУ) наиболее перспективна. Ее сущность состоит в нагревании угольной пыли электродуговой плазмой, являющейся окислителем, до температуры полной газификации, при которой ОМУ превращается в экологически чистое топливо – синтез-газ, свободный от частиц золы, оксидов азота и серы. Одновременно происходит восстановление оксидов ММУ углеродом коксового остатка и образование ценных компонентов, таких как технический кремний, ферросилиций, алюминий и карбосилиций, а также микроэлементы редких металлов: уран, молибден, ванадий [1].

Численный анализ выполнен с помощью универсальной программы термодинамических расчетов TERRA [2]. На рис.1 представлен характерный равновесный состав газовой (а и б) и конденсированной (с) фаз при плазменной комплексной переработке состава Экибастузского каменного угля зольностью 40 % и теплотой сгорания 16632 кДж/кг. Состав смеси: 100 кг угля + 40,25 кг пара. Газовая фаза продуктов представлена главным образом синтез-газом, концентрация которого достигает при 1500 К 99 об.%. Суммарная концентрация атомарного и молекулярного водорода, изменяясь в диапазоне 48 – 59 %, выше концентрации СО во всем диапазоне температур. С увеличением температуры концентрация монооксида углерода снижается с 47 % при 1500 К и до 34 % при 4000 К. Большая часть компонентов ММУ начинает переходить из конденсированной фазы (рис. 1 с) в газовую (рис. 1 б) при температуре выше 1500 К и полностью переходят в газовую фазу при температуре выше 2600 К.

Удельные энергозатраты монотонно возрастают от 1 кВт ч/кг при температуре 1000 К до 6,9 кВт ч/кг при 4000 К. Степень газификации достигает 100% при температурах, превышающих 1800К.

Плазменная комплексная переработка углей для получения синтез-газа и ценных компонентов из минеральной массы углей исследовалась на универсальной экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 2.

Специализированный плазменный реактор для комплексной переработки углей позволяет осуществлять процессы термической переработки углей с получением синтез-газа (смеси CO+H₂) из органической части топлива и ценных компонентов (SiC, FeSi и др.) из

VIII Международный симпозиум
 «Горение и плазмохимия»
 Международная научно-техническая конференция
 «Энергоэффективность-2015»

минеральной массы угля. Экспериментальная установка предназначена для работы в диапазоне мощности 40-120 кВт, при среднemasсовой температуре 1800-3000 К, расходе измельченного угля 3-10 кг/ч и расходе газообразных реагентов 0,5-10 кг/ч.

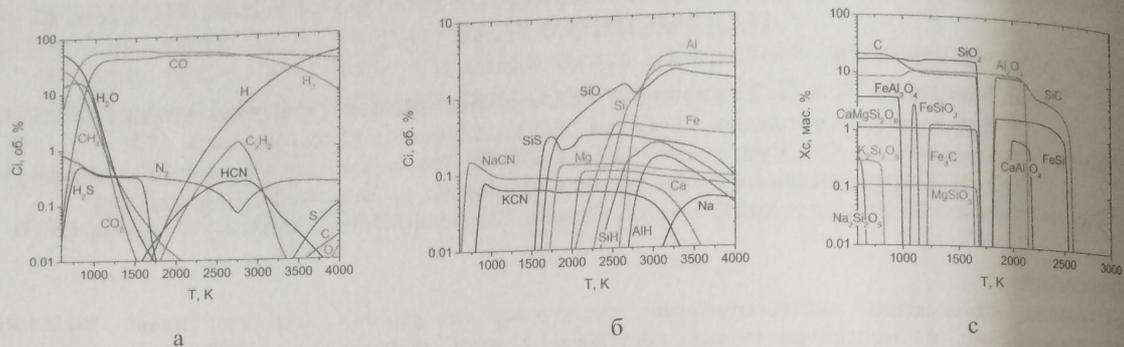
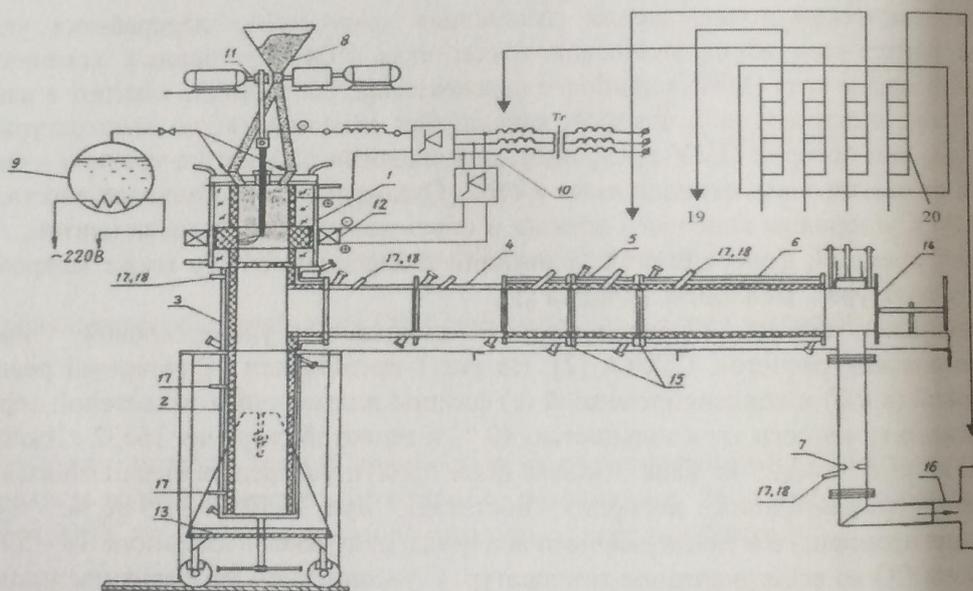


Рис. 1 – Температурная зависимость концентраций органических компонентов (а), минеральных компонентов (б) в газовой фазе и компонентов конденсированной фазы (с) при комплексной переработке угля



1 – плазменный реактор; 2 – шлакоборник; 3 – камера разделения синтез-газа и шлака;
 4, 5, 6 – камеры окисления и охлаждения синтез-газа; 7 – мерная шайба; 8 – система подачи угольной пыли;
 9 – система генерации и подачи пара; 10 – система электропитания; 11 – устройство подачи электрода;
 12 – электромагнитная катушка; 13 – тележка-подъемник; 14 – секция вывода отходящих газов с предохранительным клапаном; 15 – секции для сероочистки; 16 – вентиляционная система;
 17 – патрубки для ввода термопар; 18 – патрубки отбора газовых проб; Tr – трансформатор;
 19 – система охлаждения установки; 20 – ротаметры.

Рис. 2 – Схема экспериментальной установки для плазменной комплексной переработки твердого топлива

На основе сведения материального и теплового балансов были найдены интегральные показатели процесса. В табл. 1 представлены характерные результаты по плазменно-паровой комплексной переработке низкосортного Тургайского бурого угля зольностью 28% и теплотой сгорания 13180 кДж/кг. Выход синтез-газа составил 95,2%, степень газификации

VIII Международный симпозиум
«Горение и плазмохимия»
Международная научно-техническая конференция
«Энергоэффективность-2015»

углерода 92,3 % и степень обессеривания угля – 95,2 %. Степень восстановления проб твердого остатка из различных узлов установки для плазмохимической переработки топлива и специальной ванны расплава около графитовой диафрагмы, расположенной на выходе из реактора 1 (рис. 2) представлена в табл. 2. Из таблицы видно, что восстановленный материал обнаружен в шлаке и представлен в виде ферросилиция, карбидов кремния и железа. Максимальная степень восстановления оксидов минеральной массы угля наблюдается в шлаке со стенок электродуговой камеры реактора в зоне максимальных температур и достигает 47 %.

Таблица 1 – Интегральные характеристики плазменной комплексной переработки Тургайского бурого угля

Т, К	Q _{уд} , кВт·ч/кг	CO	H ₂	X _C , %	X _S , %
		Объемные %			
3100	5,36	45,8	49,4	92,3	95,2

Таблица 2 – Степень восстановления (Θ) минеральной массы угля

Место отбора проб	Т, К	Θ, %
Шлак из ванны расплава	2600-2800	8,5-44,0
Шлак со стенки дуговой камеры	2600-2900	16,5-47,3
Материал из шлакоборника	2000-2200	6,7-8,3

Проведенный комплекс расчетно-теоретических и экспериментальных исследований показал, что при плазменной комплексной переработке твердого топлива его органическая масса преобразуется в синтез-газ, а минеральная масса – в набор ценных компонентов. Получаемый в процессе высококалорийный синтез-газ может быть использован для синтеза метанола, в качестве высокопотенциального газа-восстановителя вместо металлургического кокса, а также в качестве энергетического газа на тепловых электростанциях.

Литература

1. Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Плазмохимические технологии переработки топлив // Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2012. - Т. 55. - Вып. 4. - С. 30-34.
2. Gorokhovski M., Karpenko E.I., Lockwood F.C., Messerle V.E., Trusov B.G., Ustimenko A.B. Plasma technologies for solid fuels: experiment and theory // Journal of the Energy Institute. - 78 (4), 2005. - P. 157-171.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению № 14.613.21.0005 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61314X0005)

Abstract

Technology of complex plasmochimical processing of solid fuel is presented. Thermodynamic and experimental study of the technology was fulfilled. Use of this technology allows producing of synthesis gas from organic matter of coal and valuable components (technical silicon, ferrosilicon, aluminum and silicon carbide and microelements of rare metals: uranium, molybdenum, vanadium) from mineral matter of coal.